

推進管の継手曲げ実大実験による推進力伝達材が推進管に与える影響の検討

長岡技術科学大学 地盤工学研究室 桜井 俊裕
指導教員 杉本 光隆

1. はじめに

シールド工法では、シールドは組立てた先端のセグメントから推進力を得るのに対し、推進工法では、発進立坑から掘進機に推進力を与える点が異なる。このため、推進工法では、全ての推進管が掘進機とともに前進することになるので、掘進メカニズムを解明するためには、掘進機と全ての推進管からなる管路の全体系を考慮することが必要となる。

上記を踏まえて、管路の全体系を対象として、地盤と推進管の相互作用を考慮に入れた推進メカニズムを理論的に表現できる管路解析モデルを開発してきた。しかし、上記管路解析モデルのうち、新たに開発した曲げ剛性を有する推進管継手モデルは、実測データを用いて検証されていない。そこで、本研究では、推進管の継手曲げ実大実験を行うことにより、直線・曲線推進時に推進力伝達材が推進管に与える影響を解明することを目的とする。

2. 実験概要

本実験では、実大の推進管 2 本を推進力伝達材を介して接合し、軸方向に荷重を行うことにより、曲線部・直線部において、推進力が推進力伝達材を介して伝達される際の、推進管に発生するひずみ・応力・断面力、推進管の変形、および、隣接する推進管の相対的な変位を把握する。

(1) 実験設備

長手方向 13m、短手方向 4m、深さ 2m のピットの中に、反力 BOX2 個、推進管架台を設置した後、その架台の上に推進力伝達材を介して推進管 2 本、その側方にコンクリート製の側方反力体 4 個を設置し、それらを、推進管軸方向は上下 2 本のジャッキ（最大載荷荷重 1.5MN/本）で、推進管横断方向は左右 4 本ずつ合計 8 本のジャッキ（最大載荷荷重 200kN/本）で支持した。その後、左右 4 本ずつ合計 8 本の PC 鋼棒で、反力 BOX 間隔を固定した。

推進力伝達材は、発泡倍率 2 倍の発泡スチロール製で、推進管の接合部には厚さ 10mm の推進力伝達材を 4 枚重ねて、推進管の両端部には厚さ 10mm の推進力伝達材 1 枚を、それぞれ上下 90° ずつの範囲に設置した。

(2) 計測項目

計測項目を表-1 に示す。推進管に発生するひずみ・応力・断面力を把握するため、推進管に発生するひずみを計測した。推進力伝達材が継手部の上下 90° ずつの範囲にのみ設置されていること、曲線部では曲線内側の推進力伝達材に応力集中が発生すると考えられることから、接合部近傍、曲線内側を重点的に計測した。

(3) 実験ケース

実験ケースを表-2 に示す。推進力が継手を介して伝達される際の、推進管に対する影響を曲線部と直線部と比較するため、推進管が曲線部と直線部にある状態を想定して、実験ケースを設定した。曲線の曲げ角度は、本実験で使用した推進管の開口差から定まる最大曲げ角度（曲線半径 38.6m に相当）とした。

(4) 実験方法

本載荷での載荷ステップを表-3 に示す。Case 1（曲線）では、推進力伝達材の特性から規定される推進管の許容推進力をもとに 1000kN まで、Case 2（直線）では、推進管の許容推進力の 90%にあたる 2700kN まで、載荷することとし、載荷・除荷を 2 度繰り返す、載荷ステップごとに表-1 に示す計測を行った。

3. 実験結果と考察

(1) 接合部の動き

Case 1（曲線）での軸方向載荷荷重と、曲線内側・外側の継手間隔、曲げ角度の関係を、図-1 に示す。この図から、以下のことがわかる。

- 1) 載荷ステップでは、荷重の増加とともに、曲線内側・外側とも同様に継手間隔が減少し、荷重 1000kN で継手間隔が約 20mm 減少する。
- 2) 除荷ステップでは、荷重が減少しても、曲線内側・外側とも継手間隔は余り増加しない。これは、推進力伝達材が塑性変形したためと考えられる。
- 3) 曲げ角度も、継手間隔と同様の傾向を示し、荷重 1000kN で曲げ角度は約 0.4 度減少（曲線内側・外側の継手間隔の差が 5.5mm 減少）する。

(2) 推進管の軸方向ひずみ

Case 1（曲線）と Case 2（直線）における、載荷荷重 1000kN での推進管 I の内面の軸方向ひずみ分布を表-2 に示す。

推進力伝達材は、推進管両端部の、0~45、135~225、315~360 度の範囲に設置されている。まず、Case 1（曲線）の図から、軸方向ひずみについて、以下のことがわかる。

- 1) 接合部近傍の a 断面では、軸方向ひずみは、曲線内側の推進力伝達材が設置されている範囲（180-225、315-360 度）で大きく、その中の 202.5、337.5 度で上下それぞれの最大値を取り、曲線外側の推進力伝達材が設置されていない位置（90 度）で最小値を取る
- 2) 接合部から離れるにしたがって、曲線内側の軸方向ひずみの集中は、推進力伝達材の設置範囲から推進力伝達材の未設置範囲へ分散していくが、曲線外側では軸方向ひずみはほとんど発生しない。これは、推進管の接合部で曲線内側へ偏心した推進力が作用しているため、推進管が曲線内側への曲げモーメントを受けるためである。

表-1 計測項目

計測項目		計測方法	点数
A	荷重	軸方向	荷重計 2
B		側方	荷重計 8
C	推進管	角度	トランシット —
D		継手間隔	変位計 4
E		ひずみ	ひずみゲージ 352
F		たわみ	レーザー変位計 12
G	側方反力体	変位	変位計 16
H	PC 鋼棒	ひずみ	ひずみゲージ 16
合計			410

表-2 実験ケース

Case	線形	曲げ角度
1	曲線	3.61°
2	直線	0.00°

表-3 載荷ステップ(kN)

Case	線形	最大荷重	載荷間隔	除荷間隔
1	曲線	1000	50	-250
2	直線	2700	100	-200, 以後-500

- 3) 接合部と反対側の推進管端部の e 断面では、再び、推進力伝達材の設置範囲で軸方向ひずみが大きくなる。
- 4) 接合部近傍の a 断面より b 断面の方が、軸方向ひずみが大きくなっている。これは a 断面が埋込カラーの内側にあるため、鋼製の埋込カラーがコンクリートの軸方向ひずみを抑制しているためと考えられる。

一方、Case 2 (直線) の図から、軸方向ひずみについて、以下のことがわかる。

- 1) 軸方向ひずみ分布は、ほぼ左右対称となっている。また、接合部近傍の a, b 断面での軸方向ひずみは、Case 1 (曲線) では $0 \sim 272 \mu$ であるのに対して、Case 2 (直線) では $22 \sim 178 \mu$ となっていて、Case 2 (直線) では、ひずみの集中が緩和されている。これは、Case 2 (直線) では推進力が推進力伝達材の全断面を介して隣接推進管に伝達されるので、Case 1 (曲線) と比較して、応力集中が緩和されるためである。
- 2) その他は、Case 1 (曲線) と同様な傾向を示し、Case 1 (曲線) と同様に説明できる。

4. 結論

推進管の継手曲げ実大実験を実施し、同実験から得られた結論を列記する。

- 1) 曲線部では、推進力の増加とともに、継手間隔は曲線内側・外側ともに減少し、曲げ角度も減少する。これは、推進力の増加とともに、曲線内側の推進力伝達材の反力が増大し、推進管全体としては曲線外側への曲げモーメントが発生するためである。
- 2) 曲線部において推進管に発生する軸方向ひずみは、接合

部近傍では、曲線内側の推進力伝達材設置範囲で大きい。また、接合部から離れるにしたがって、推進力伝達材の設置範囲から未設置範囲へ分散していくが、曲線外側ではほとんど発生しない。

- 3) 鋼製の埋込カラーの内側にあるコンクリートでは、埋込カラーの剛性のために、軸方向ひずみは抑制される。
- 4) 直線部において推進管に発生する軸方向ひずみは、ほぼ左右対称で、曲線部よりひずみの集中は緩和される。これは、直線部では、推進力が推進力伝達材の全断面を介して隣接推進管に伝達されるためである。

今後は、本実験で得られた計測結果をさらに検討するとともに、本実験結果を用いて、著者らが開発してきた管路解析モデルの中の推進管継手モデルを検証したい。

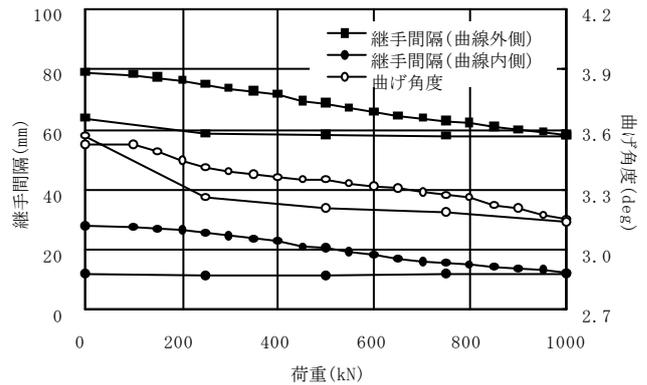


図-1 接合部の動き (Case1 曲線)

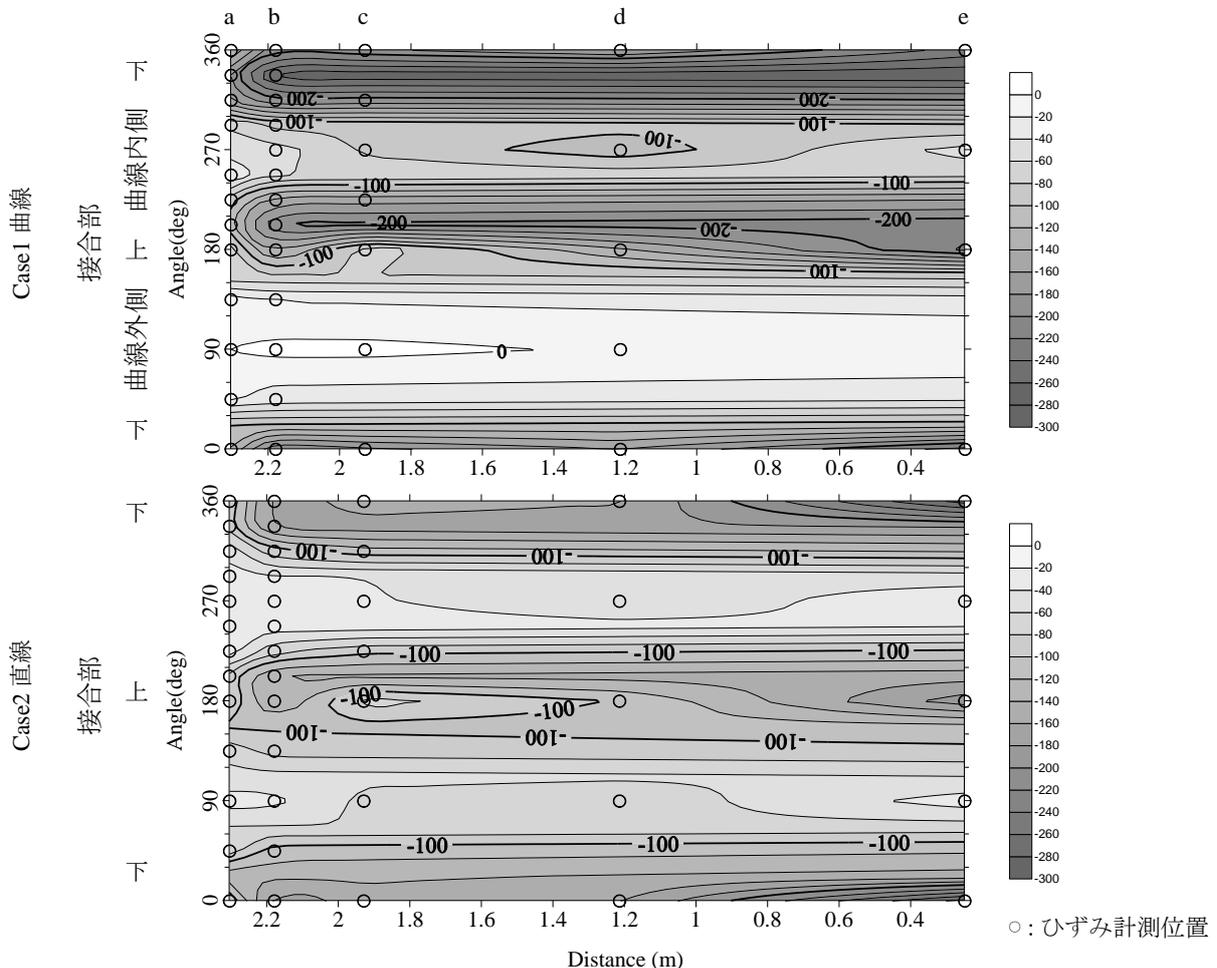


図-2 軸方向ひずみ分布 (推進管 I 内面, 1000kN)